

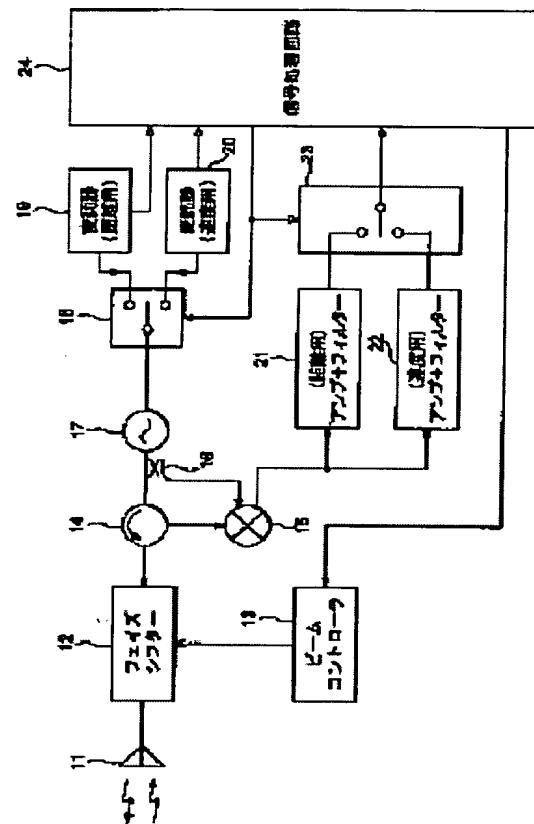
RADAR APPARATUS

Patent number: JP2000009831
Publication date: 2000-01-14
Inventor: OKUWA YOSHIHIRO; TAGUCHI KOJI; AGARI
Applicant: TOYOTA MOTOR CORP.; FUJITSU TEN LTD
Classification:
 - international: G01S13/34; G01S7/02; G01S13/50
 - european:
Application number: JP19980180793 19980626
Priority number(s):

Abstract of JP2000009831

PROBLEM TO BE SOLVED: To make detectable the relative movement velocity of a target at a high speed with a high resolution by providing a transmission part, a reception part and a signal-processing part, separately detecting the distance and the velocity of the target, and scanning beams only in a part of azimuths when the velocity is to be detected.

SOLUTION: An antenna 11 has a transmission and a reception antennas and scans beams in two horizontal and vertical, directions. A phase shifter 12 is connected to every element antenna constituting a reception array antenna. A beam controller 13 adjusts the phase shift amount of each transfer device in the phase shifter 12 so as to direct beams from the reception antenna to an azimuth conforming to a command of a signal-processing circuit 24. The signal-processing circuit 24 controls to switch multiplexers 18, 23 by a switch signal, indicates a beam azimuth to the beam controller 13, detects the distance and the velocity of the target at each azimuth on the basis of a beat signal input via the multiplexer 23, and recognizes the target in the whole of beam scan range.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-9831

(P2000-9831A)

(43)公開日 平成12年1月14日(2000.1.14)

(51) Int.Cl.⁷
G 0 1 S 13/34
7/02
13/50
// G 0 1 S 13/93

識別記号

F I
G O 1 S 13/34
7/02
13/50
13/93

テーマコード(参考)
5 J 0 7 0

審査請求 未請求 請求項の数 3 O.L. (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平10-180793
(22)出願日 平成10年6月26日(1998.6.26)

(71) 出願人 000003207
トヨタ自動車株式会社
愛知県豊田市トヨタ町 1 番地

(71) 出願人 000237592
富士通テン株式会社
兵庫県神戸市兵庫区御所通 1 丁目 2 番28号

(72) 発明者 大桑 芳宏
愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内

(74) 代理人 100088155
弁理士 長谷川 芳樹 (外 1 名)

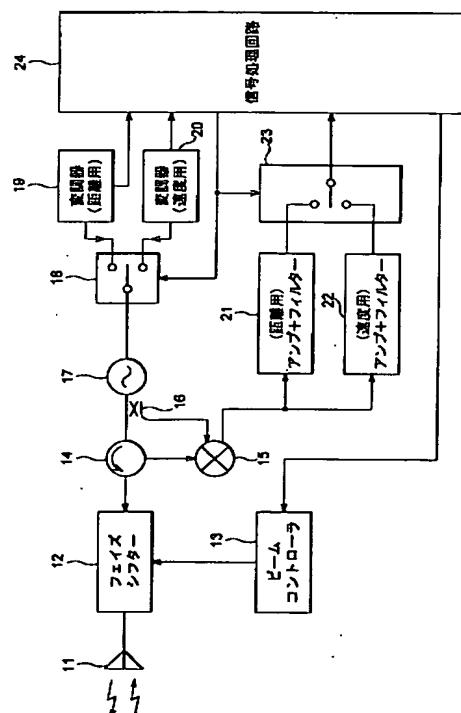
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーダ装置

(57)【要約】

【課題】 高速処理且つ高解像度のFM-CWレーダ装置を提供すること

【解決手段】 送信信号と受信信号とのビート信号からターゲットまでの距離およびターゲットの相対速度を検出するレーダ装置において、受信部は複数の素子アンテナで受信した信号の位相を制御してビーム走査を行うフェイズド・アレーアンテナを備え、信号処理部はフェイズド・アレーアンテナによる第1段階のビーム走査によりターゲットの距離を検出し、第2段階のビーム走査によりターゲットの相対速度を検出するものであり、第2段階のビーム走査範囲は、第1段階の走査で得られた検出結果に基づいて第1段階の走査範囲内において定められることを特徴とするレーダ装置。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基本波に周波数変調を掛けた送信信号を電磁波として放射する送信部と、前記電磁波がターゲットに到達してこのターゲットから再放射された電磁波を受信信号として受信し、前記受信信号に前記送信信号の一部をミキシングすることによりビート信号を生成する受信部と、前記送信部および前記受信部を制御すると共に、前記ビート信号の周波数から前記ターゲットまでの距離および前記ターゲットの相対速度を検出する信号処理部とを備えたレーダ装置において、

前記受信部は複数の素子アンテナで受信した信号の位相を制御してビーム走査を行うフェイズド・アレー・アンテナを備え、

前記信号処理部は前記フェイズド・アレー・アンテナによる第1段階のビーム走査により前記ターゲットの距離を検出し、第2段階のビーム走査により前記ターゲットの相対速度を検出するものであり、

前記第2段階のビーム走査範囲は、前記第1段階の走査で得られた検出結果に基づいて前記第1段階の走査範囲内において定められることを特徴とするレーダ装置。

【請求項2】 前記第2段階のビーム走査時の送信信号変調周期T2が前記第1段階のビーム走査時の送信信号変調周期T1よりも長いことを特徴とする請求項1に記載のレーダ装置。

【請求項3】 前記第2段階のビーム走査範囲は、前記第1段階の走査により検出されたターゲットの方位およびその近傍であることを特徴とする請求項2に記載のレーダ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、受信アンテナとしてフェイズド・アレー・アンテナを備えたレーダ装置に関するものであり、特に、ドップラー効果を利用して送受信信号間のビート信号からターゲットの速度を検出するレーダ装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 ドップラー効果を利用して送受信信号間のビート信号からターゲットの速度を検出するレーダ装置として、たとえば、特開平4-278487号に開示された「車両用レーダ装置」がある。このレーダ装置はビームが固定されたFM-CWレーダ装置であり、そのビーム範囲内に存在するターゲットの距離および速度を検出することができる。

【0003】 一方、ターゲットの方位を検知するためには、ビームを走査する必要がある。走査方式としては、電子走査の一手法であるフェイズド・アレー方式がある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 フェイズド・アレー方式でビーム走査を行う場合、一つの方位に対する検出時

間が通常は一定であるため、検出すべき方位の数を増加させて走査分解能を高めると、一走査に要する時間が分解能に比例して長くなる。

【0005】 たとえば、送信信号に周波数が60GHzのミリ波を用いた場合、ターゲットの速度10km/hがドップラ周波数のおよそ1kHzに相当する。ビート周波数の検出にビート信号の少なくとも1波長を取り込む必要があるため、1方位に対して最低でも1msの時間が必要となる。

【0006】 一方、角度0.1度の分解能で水平±10度、垂直±10度の範囲でステップ走査を行うと、一走査(一画面分)で $200 \times 200 = 40000$ ステップの検出処理を実行することになる。したがって、一走査に、最低でも $40000 \text{ステップ} \times 1 \text{ms} = 40 \text{s}$ の時間を要することになる。

【0007】 一走査にこのような長い時間を要していたのでは、先行車両の挙動等を短時間に検出する必要がある車載用レーダ装置への適用は困難である。

【0008】 そこで、高分解能かつ高速検出が可能なレーダ装置が求められていた。

【0009】

【課題を解決するための手段】 本発明のレーダ装置はこのような課題を解決するためになされたものであり、基本波に周波数変調を掛けた送信信号を電磁波として放射する送信部と、電磁波がターゲットに到達してこのターゲットから再放射された電磁波を受信信号として受信し、受信信号に送信信号の一部をミキシングすることによりビート信号を生成する受信部と、送信部および受信部を制御すると共に、ビート信号の周波数からターゲットまでの距離およびターゲットの相対速度を検出する信号処理部とを備えたレーダ装置において、受信部は複数の素子アンテナで受信した信号の位相を制御してビーム走査を行うフェイズド・アレー・アンテナを備え、信号処理部はフェイズド・アレー・アンテナによる第1段階のビーム走査によりターゲットの距離を検出し、第2段階のビーム走査によりターゲットの相対速度を検出するものであり、第2段階のビーム走査範囲は、第1段階の走査で得られた検出結果に基づいて第1段階の走査範囲内において定められることを特徴とする。

【0010】 受信部で生成されるビート周波数には、ターゲットの距離に応じて変化する狭義のビート周波数 f_r とターゲットの移動速度に応じて変化するドップラ周波数 f_d が含まれている。

【0011】 ターゲットの距離を検出するためには、送信信号周波数のアップ区間またはダウン区間において、狭義のビート周波数 f_r に対応する信号の少なくとも1周期分を観測する必要がある。

【0012】 また、ターゲットの速度を検出するためには、送信信号周波数のアップ区間またはダウン区間において、ドップラ周波数 f_d に対応する信号の少なくと

も1周期分を観測する必要がある。

【0013】一般に、ドップラー一周波数 f_d は狭義のビート周波数 f_r に対してかなり低いため、ドップラー一周波数 f_d を用いた速度検出に必要な変調周期は、狭義のビート周波数 f_r を用いた距離検出に必要な変調周期よりも十分に長くする必要がある。

【0014】この発明では、ビーム走査を2段階に分けて実行し、第1段階では距離検知のみを行うので、短い変調周期の送信信号を用いることができる。そのため、短時間で高分解能の走査が可能である。また、第2段階では速度検知が可能な程度に十分長い変調周期の送信信号を用いても、ビーム走査範囲が一部に絞られているので、トータルの検出時間を短く抑えることができる。

【0015】

【発明の実施の形態】図1は本発明の一実施形態であるレーダ装置を示す構成図である。このレーダ装置は、連続波(CW)に周波数変調(FM)を掛けた送信信号を用いるFM-CWレーダ装置であり、且つ、受信ビームを電子的に走査するフェーズド・アレーランテナレーダ装置である。

【0016】はじめに、FM-CWレーダ装置の探知原理を図2および図3のグラフを用いて説明する。

【0017】図2(A)は、送信周波数の変化と、距離Rの位置にあり相対速度が零の目標物から再放射された受信周波数の変化との関係を示したグラフであり、縦軸に周波数、横軸に時間をとっている。実線は送信信号周波数を示し、破線は受信信号周波数を示している。このグラフから判るように、送信信号には連続波に三角状の周波数変調を掛けた変調信号を用いる。送信信号の中心周波数は f_0 、周波数偏移幅は ΔF 、三角波の繰り返し周波数は f_m である。

【0018】図3(A)は、目標物の相対速度が零でなく速度Vのときの受信信号の変化と送信信号との関係を示したグラフであり、実線は送信信号周波数を示し、破線は受信信号周波数を示している。なお、送信信号および座標軸の意義は図2(A)と同じである。

【0019】図2(A)および図3(A)から、このような送信信号を放射しているときの受信信号は、目標物の相対速度が零のときには距離に応じた時間遅れT ($T = 2R/C$: Cは光の速度) を受け、目標物の相対速度がVのときには距離に応じた時間遅れTと、相対速度に相当する周波数偏移Dを受けることが判る。なお、図3(A)に示す例は、受信信号周波数が同グラフにおいて上方に偏移しており、目標物が接近する場合を示している。

【0020】この受信信号に対して送信信号の一部をミキシングすれば、ビート信号が得られる。図2(B)および図3(B)は、それぞれ目標物の相対速度が零のときと速度Vのときのビート周波数を示すグラフであり、時間軸(横軸)はそれぞれ図2(A)および図3(A)

とタイミングを一致させてある。

【0021】いま、相対速度が零のときのビート周波数(狭義のビート周波数)を f_r 、相対速度に基づくドップラ周波数を f_d 、周波数が増加する区間(アップ区間)のビート周波数を f_{b1} 、周波数が減少する区間(ダウン区間)のビート周波数を f_{b2} とすると、

$$f_{b1} = f_r - f_d \quad \dots (1)$$

$$f_{b2} = f_r + f_d \quad \dots (2)$$

が成り立つ。

【0022】したがって、変調サイクルのアップ区間とダウン区間のビート周波数 f_{b1} および f_{b2} を別々に測定すれば、次式(3)、(4)から f_r および f_d を求めることができる。

【0023】

$$f_r = (f_{b1} + f_{b2}) / 2 \quad \dots (3)$$

$$f_d = (f_{b2} - f_{b1}) / 2 \quad \dots (4)$$

f_r および f_d が求まれば、目標物の距離Rと速度Vを次の(5)、(6)式により求めることができる。

【0024】

$$R = (C / (4 \cdot \Delta F \cdot f_m)) \cdot f_r \quad \dots (5)$$

$$V = (C / (2 \cdot f_0)) \cdot f_d \quad \dots (6)$$

ここに、Cは光の速度である。

【0025】このようにして目標物の距離Rおよび速度Vを求めることができるので、ビーム走査を行いながら距離Rおよび速度Vを順次算出すれば、目標物の方位、距離、速度を探知することができる。これがFM-CWレーダ装置の原理である。

【0026】つぎに、フェーズド・アレーランテナによるビーム走査の原理を説明する。

【0027】図4はフェーズドアレーランテナレーダの基本構成を示す図である。レーダの中心方向Xに対して、角度θの方向から到来する電波を間隔dで一列に配列されたn個の素子アンテナからなるアレーランテナで受信する場合、素子アンテナ(CH1)に対する電波の伝搬経路長を基準とすると、素子アンテナ(CH2)、…、素子アンテナ(CHn)に対する各伝搬経路長は、図4に示すように、それぞれ $dsin\theta$ 、…、 $(n-1)dsin\theta$ だけ長くなる。したがって、その分だけ素子アンテナ(CH2)、…、素子アンテナ(CHn)に到達する電波の位相が素子アンテナ(CH1)に到達する電波の位相よりも遅れる。

【0028】この遅れ量は、それぞれ $(2\pi dsin\theta) / \lambda$ 、…、 $(2(n-1)\pi dsin\theta) / \lambda$ となる。ここに、λは電波の波長である。この遅れ分を各素子アンテナの後段に設けられた移相器で戻して位相を進めてやると、θ方向からの電波が全素子アンテナにおいて同位相で受信されることになり、指向性すなわちビームがθ方向に向けられたことになる。

【0029】各移相器を経た受信信号を合成した後の信号処理は機械式走査と同様であり、低雑音増幅器(アン

プ)で増幅し、送信信号とミキシングすることによりダウンコンバートして信号処理回路に送られる。

【0030】このようなフェーズドアレー・アンテナレーダによれば、各移相器の移相量を適宜制御することにより、素子アンテナで構成されるアレー・アンテナを固定したまま任意の方向に指向性を動かすことができる。

【0031】図1に示す本実施形態のレーダ装置において、アンテナ11は、送信アンテナと受信アンテナを備えている。受信アンテナは複数の素子アンテナが2次元的(平面的)に配列されたアレー・アンテナを構成している。素子アンテナの配列面を垂直に立てて配置すれば、配列面に垂直な方向をほぼ中心として、水平・垂直の両方向にビーム走査を行うことが可能となる。

【0032】フェイズシフター12は、受信アレー・アンテナを構成する各素子アンテナ毎に一つずつ接続された移送器の集合である。ビームコントローラ13は、受信アンテナのビームを信号処理回路24の指令に応じた方向に向けるために、フェイズシフター12内の各移送器の位相シフト量を調整する。

【0033】信号処理回路24は、受信アンテナが角度0.1度の分解能で水平±10度、垂直±10度の範囲でビーム走査を行うように、ビームコントローラ13に対して指令を出す。したがって、この実施形態では、水平±10度、垂直±10度の角度範囲で、水平方向および垂直方向のそれぞれにおいて200分割の分解能でビーム走査を行うことになり、一回のビーム走査で200×200方位すなわち40000方位におけるターゲット検知を実行する。

【0034】電圧制御型発振器(VCO)17は、中心周波数f0(例えば76.5GHz)のミリ波帯の信号を出力するものであり、変調器19または20からの変調用の電圧信号を受けて、図2または図3に示すような三角波変調された送信信号を出力する。この送信信号は、サーチュレーター14、フェイズシフター12を介してアンテナ11から放射される。なお、送信信号は、サーチュレーター14およびフェイズシフター12を単に通過するだけであり、信号に変化はない。

【0035】変調器19は距離検知のための変調電圧を生成し、変調器20は速度検知のための変調電圧を生成する。両変調器の相違は変調周波数にあり、図5に示すように、変調器19の変調周波数f_{m1}が、変調器20の変調周波数f_{m2}よりもかなり高く設定してある。図5(A)は距離検知用の変調器19の変調周波数を示すものであり、同図(B)は速度検知用の変調器20の変調周波数を示すものである。一例として、変調周波数f_{m2}は750Hzであり、変調周波数f_{m1}は30MHzである。

【0036】なお、周波数変調幅△Fはいずれの変調器を用いた場合も同じになるように、たとえば、100MHz程度に設定してある。変調器19と20は択一的に

用いられるものであり、その切換は、信号処理回路24の指令に基づいてマルチプレクサ18においてなされる。

【0037】ミキサ15は、アンテナ11、フェイズシフター12、サーチュレーター14を経由してきた受信信号を方向性結合器16からの送信信号の一部とミキシングしてビート信号にダウンコンバートするものである。アンプ・フィルタ部21および22は、それぞれビート信号を増幅するアンプとノイズ成分を除去するフィルタを備えている。アンプ・フィルタ部21および22の出力端子は、マルチプレクサ23の切換により、いずれか一方が信号処理回路24に入力される。

【0038】マルチプレクサ23は、マルチプレクサ18と同期して切り換えられるものである。すなわち、マルチプレクサ18においてVCO17が距離検知用の変調器19に接続されるときには、アンプ・フィルタ部21が信号処理回路24に接続され、逆に、マルチプレクサ18においてVCO17が速度検知用の変調器20に接続されるときには、アンプ・フィルタ部22が信号処理回路24と接続される。

【0039】信号処理回路24は、上述したように、切換信号によるマルチプレクサ18、23の切換制御およびビーム角ステップ制御信号によるビームコントローラ13へのビーム方位指示を行う。また、同回路24は、マルチプレクサ23を経て入力されるビート信号に基づいて各方位でのターゲットの距離および速度を検知し、さらに、これらの検知結果に基づいてビーム走査範囲全体におけるターゲット認識を行う。

【0040】つぎに図6に示すフローチャートと共に、本実施形態の動作を説明する。この装置は、ターゲットの検知に関して、速度検知モードまたは距離検知モードのいずれかが択一的に実行される。

【0041】まず、ステップS1で前回の検知モードが距離検知モードだったか否かを判断する。これにより、動作開始時および前回の検知モードが速度検知モードのときには否定されてステップS2に移行し、前回の検知モードが距離検知モードのときには肯定されてステップS8に移行する。この判断処理により、動作開始時には距離検知モードが実行され、以後速度検知モードと距離検知モードが交互に実行される。

【0042】ステップS1からステップS2に移行すると、距離検知モードでのビーム走査を行うために、マルチプレクサ18、23の切換により、変調器19およびアンプ・フィルタ部21が選択される。すなわち、VCO17には変調器19が接続され、信号処理回路24にはアンプ・フィルタ部21が接続される。

【0043】走査(スキャン)は、上述したように水平±10度、垂直±10度の範囲で角度0.1度の分解能で行われる。すなわち、水平方向に200方位のステップスキャンが実行され、その水平方向ステップスキャン

が垂直方向に上から下へ200段階行われる。

【0044】ステップS3では、ビームコントローラ13がフェイズシフター12内の各移送器の移相量を調整して、0.1度分だけビームの方位をずらす。ついで、ステップS4で、その方位にあるターゲットの距離を算出する。距離Rの算出は上述したように、受信信号をミキサ15でダウコンバートしてビート信号を得、そのビート周波数を(5)式に代入することにより得ることができる。

【0045】つづいて、ステップS5に移行し、一走査が終了したか否か、すなわち、水平方向の200ステップを垂直方向に200段階行なうことが終了したか否かが判断される。終了していないければ、ステップS3およびS4を繰り返し実行する。

【0046】水平200ステップ×垂直200段階=40000ステップのステップスキャンが完了すると、ステップS5からステップS6へ移行して、目標ターゲットの認識処理を行う。このときの送信信号は、図5

(A)に示すような比較的高い変調周波数で変調されているので、1回の距離算出に必要な受信信号取り込み時間が短くてよい。したがって、一走査、つまり40000ステップの距離算出を短時間に行なうことができる。

【0047】ステップS6の目標ターゲット認識処理では、各方位において得られた距離データをグルーピングしてターゲットのサイズ、中心位置、個数等の認識を行い、さらに、本装置にとって認識の必要なターゲット(以下、これを目標ターゲットと呼ぶ)の抽出を行う。

【0048】ステップS7では、抽出された目標ターゲットの方位を特定した速度算出用スキャンテーブルを作成し、ステップS1に戻る。

【0049】ステップS1では、ステップS7から戻ったときには、前回が距離検知モードであるから、判断が肯定されステップS8に移行する。

【0050】ステップS8では、速度検知モードでのビーム走査を行うために、マルチプレクサ18、23の切換により、変調器20およびアンプ・フィルター部22が選択される。すなわち、VCO17には変調器20が接続され、信号処理回路24にはアンプ・フィルター部22が接続される。これにより、送信信号は図5(B)に示すような比較的低い変調周波数f_m2で三角変調された信号となり、そのアップ区間およびダウン区間においてドップラー周波数の抽出が可能となる。

【0051】速度検知モードでは、ステップS7で作成した速度算出用スキャンテーブルに基づいて、そのスキャンテーブルで特定された一部の方位に対して選択的にビームを生成する。すなわち、ステップS9では、スキャンテーブルで特定された方位の中でステップスキャンを実行する。ビームの方位は、ステップS3のときと同様にビームコントローラ13がフェイズシフター12内の各移送器の移相量を調整することにより特定される。

【0052】ステップS10では、ステップS9で特定された方位について、(6)式に従って速度演算を行う。

【0053】ステップS11では、一走査が終了したか否かを判断し、ここで終了と判断されるまで、速度算出用スキャンテーブルで特定された方位についてのビーム生成(ステップS9)および速度演算(ステップS10)が順次実行される。

【0054】速度算出用スキャンテーブルで特定した全方位について速度演算が行われると、ステップS12に移行して、目標ターゲットの距離および速度から目標ターゲットとの衝突の可能性について演算を行い、必要に応じて警告表示を行う。

【0055】その後は、再びステップS1に戻る。ステップS12からステップS1へ移行した場合には、前回が速度検知モードであったわけであるから、ステップS2に移行して上述した距離検知モードでの動作が実行される。

【0056】以後、距離検知モードと速度検知モードが交互に実行され、目標ターゲットの方位、距離、速度が検知され、これらの結果から衝突の可能性を随時演算により求められる。

【0057】

【発明の効果】以上のように、本発明のレーダ装置によれば、ターゲットの距離検知と速度検知を別々に行い、速度検知の際のビーム走査を一部の方位に対してのみ行うことにより、高解像度でありながら、短時間に目標ターゲットの相対移動速度を検知することができる。したがって、例えばこのレーダ装置を車両に搭載して前方の監視に利用すれば、前方物体との衝突の可能性等を早期に判断することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態であるレーダ装置の構成を示す図。

【図2】FM-CWレーダ装置の動作原理を説明する波形図。

【図3】FM-CWレーダ装置の動作原理を説明する波形図。

【図4】フェイズド・アレー・レーダ装置の原理を説明するための構成図。

【図5】本実施形態のレーダ装置における送信信号に対する変調信号を示す波形図。

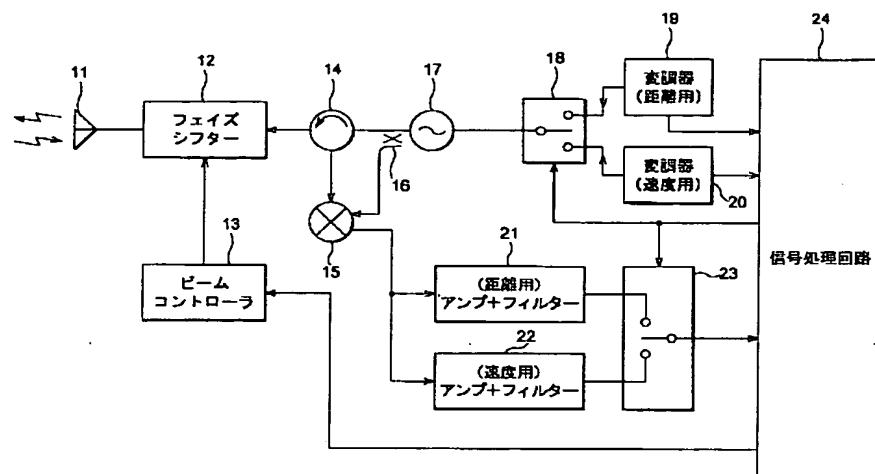
【図6】本実施形態のレーダ装置の動作を示すフローチャート。

【符号の説明】

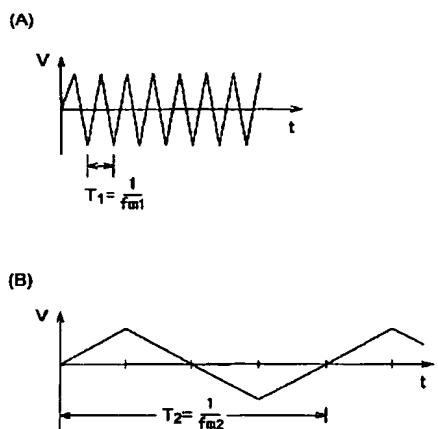
1 1…アンテナ、1 2…フェイズシフター、1 3…ビームコントローラ、1 4…サーチューレーター、1 5…ミキサ、1 6…方向性結合器、1 7…VCO、1 8、2 2…マルチプレクサ、1 9…距離検知用変調器、2 0…速度検知用変調器、2 1…距離検知用アンプ・フィルタ部、

22…速度検知用アンプ・フィルタ部、24…信号処理回路。

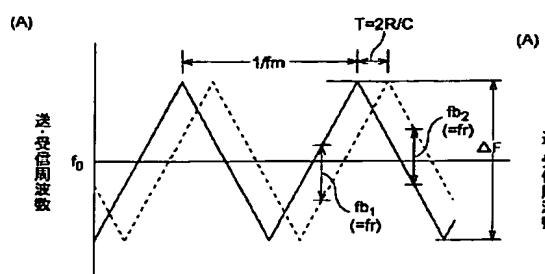
【図1】



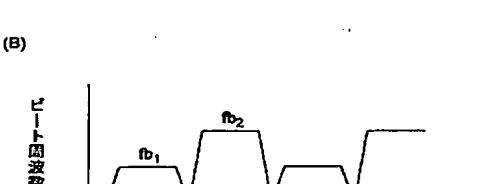
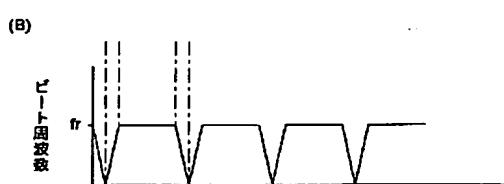
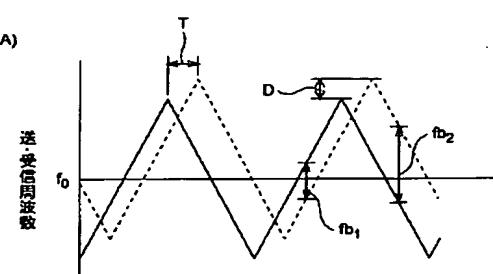
【図5】



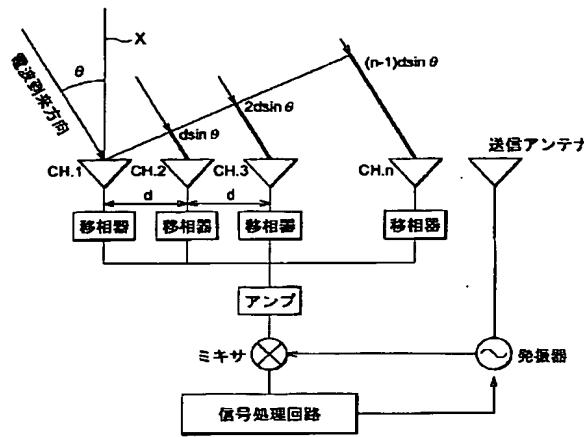
【図2】



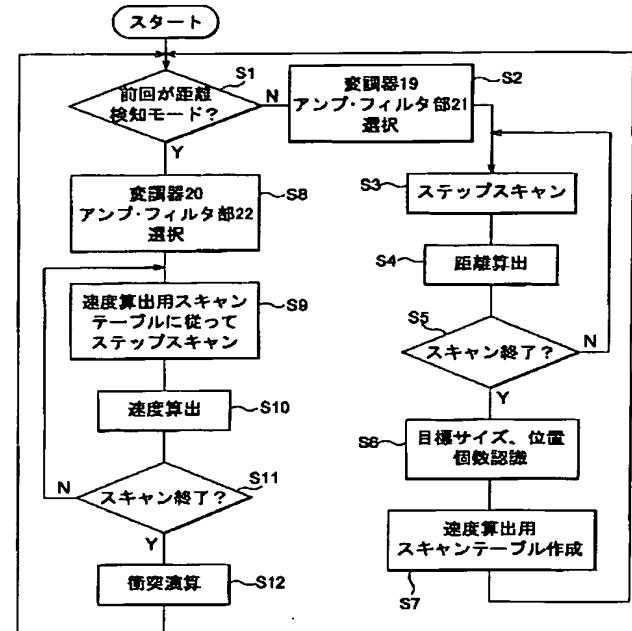
【図3】



【図4】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 田口 康治
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
(72)発明者 上里 良英
兵庫県神戸市兵庫区御所通一丁目2番28号
富士通テン株式会社内

F ターム(参考) 5J070 AB19 AB24 AC02 AC06 AC13
AD10 AF03 AG09 AH34 AH39
AH50 AJ10 AJ13 AK21 AK22
AK40 BA01 BF10 BF13 BG01
BG40